

# Kockarjev propad

## Gambler's ruin

Eva Deželak in Ines Šilc

Fakulteta za matematiko in fiziko

3. april 2019

# Navodilo

Igralec  $M$  ima  $m$  enot denarja, igralec  $N$  pa  $n$  enot premoženja,  $\{m, n\} \subset \mathbb{N}$ . Zapored igrata igro na srečo v kateri ni neodločenih izidov; v vsaki igri dobi zmagovalec eno denarno enoto od poraženca; igralec  $M$  zmaga vsakič z verjetnostjo  $p \in (0, 1)$ , neodvisno od preteklosti. Igranje se konča, ko eden od igralcev bankrotira. Naj bo  $T$  število iger, ki so potrebne, da eden od igralcev bankrotira.

- (i) Določi verjetnost, da bankrotira igralec  $M$ . Zakaj je  $T < \infty$  s.g.?
- (ii) Predpostavi, da je  $E[T] < \infty$  (za vsako izbiro  $m$  in  $n$ ). Določi  $E[T]$ . \*Ali znaš utemeljiti, da je  $E[T] < \infty$ ?

# Končnost igre

Vsota verjetnostii, da bankrotira igralec  $M$ , in da bankrotira igralec  $N$ :

$$\begin{aligned}
 & \frac{(1-p)^{m+n} - p^m(1-p)^n}{(1-p)^{m+n} - p^{m+n}} + \frac{p^{m+n} - p^m(1-p)^n}{p^{m+n} - (1-p)^{m+n}} = \\
 &= \frac{(1-p)^{m+n} - p^m(1-p)^n}{(1-p)^{m+n} - p^{m+n}} - \frac{p^{m+n} - p^m(1-p)^n}{(1-p)^{m+n} - p^{m+n}} = \\
 &= \frac{(1-p)^{m+n} - p^m(1-p)^n - p^{m+n} + p^m(1-p)^n}{(1-p)^{m+n} - p^{m+n}} = \\
 &= \frac{(1-p)^{m+n} - p^{m+n}}{(1-p)^{m+n} - p^{m+n}} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

# Poseben primer za $p = \frac{1}{2}$

Dobimo

$$r = \frac{1 - \frac{1}{2}}{\frac{1}{2}} = 1.$$

V tem primeru so  $u_0, u_1, \dots, u_n$  med seboj enaki, torej:

$$u_k = r^k \cdot u_0 = u_0.$$

Posledično še lažje izrazimo  $u_0$ , na način:  $1 = c \cdot u_0$ , torej  $u_0 = \frac{1}{c}$ . V tem primeru je naša iskana verjetnost za igralca  $M$  enaka:

$$\begin{aligned} p_m &= u_m + u_{m+1} + \dots + u_{m+n-1} = \\ &= u_m \cdot n = \frac{n}{c} = \frac{n}{m+n}. \end{aligned}$$

# Matematično upanje za $p = \frac{1}{2}$

$$E[T|M=x] = \frac{1}{2} \cdot E[T|M=x+1] + \frac{1}{2} \cdot E[T|M=x-1] + 1,$$

$$\frac{1}{2}f(x+2) - f(x+1) + \frac{1}{2}f(x) = -1 \quad (1)$$

Homogeni del:

$$\frac{1}{2}f(x+2) - f(x+1) + \frac{1}{2}f(x) = 0 \quad (2)$$

Karakteristični polinom:

$$\frac{1}{2}\lambda^2 - \lambda + \frac{1}{2} = 0$$

Rešitev je dvojna ničla  $\lambda_{1,2} = 1$ . Rešitev enačbe (2) je oblike:

$$(Ax + B) \cdot 1^x = Ax + B$$

Nastavek za iskanje partikularne rešitve:  $f(x) = C \cdot x^2 \cdot 1^x = Cx^2$  Vstavimo v enačbo (1) in dobimo:

$$\begin{aligned} C(x+2)^2 - 2C(x+1)^2 + Cx^2 &= -2 \\ \Leftrightarrow C(x^2 + 4x + 4) - 2C(x^2 + 2x + 1) + Cx^2 &= -2 \\ \Leftrightarrow C &= -1 \end{aligned}$$

Partikularna rešitev je  $f(x) = -x^2$ , splošna rešitev enačbe (1) pa je:

$$f(x) = Ax + B - x^2$$

Vstavimo robne pogoje:

- 1  $f(0) = 0 \Rightarrow B = 0$
- 2  $f(m+n) = 0 \Rightarrow A = m+n$

Rešitev:

$$E[T|M=x] = (m+n)x - x^2$$

Če začnemo z  $m$  enotami denarja:

$$E[T|M=m] = (m+n)m - m^2 = n \cdot m$$

# Posebni primeri

- 1 V primeru, da velja  $m = n$  :

$$p_m = \frac{(1-p)^m}{p^m + (1-p)^m}.$$

V primeru, da je  $p = \frac{1}{2}$ , dobimo:  $p_m = \frac{m}{m+m} = \frac{1}{m}$ .

- 2 V primeru, da premoženje obeh igralcev pomnožimo s konstanto, dobimo:

$$p_m = \frac{(1-p)^{cm+cn} - (1-p)^{cm} p^{cn}}{(1-p)^{cm+cn} - p^{cm+cn}}.$$

V primeru  $p = \frac{1}{2}$  torej dobimo:  $p_m = \frac{cn}{cm+cn} = \frac{cn}{c(m+n)} = \frac{n}{m+n}$ , torej ugotovimo, da se iskana verjetnost ne spremeni.

3

$$m \rightarrow \infty \Rightarrow p_m \rightarrow 0$$

$$n \rightarrow \infty \Rightarrow p_m \rightarrow 1$$

4

$$p_m = \lim_{p \rightarrow 1/2} \frac{(1-p)^{n+m} - (1-p)^m \cdot p^n}{(1-p)^{m+n} - p^{m+n}} = \frac{n}{m+n}.$$

# Dokaz $E[T] < \infty$

Definirajmo:

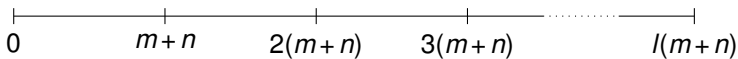
$$X_n := \begin{cases} 1; & \text{če zmaga igralec M} \\ 0; & \text{če zmaga igralec N} \end{cases}$$

Tako lahko navzgor ocenimo  $T$ :

$$\begin{aligned} T &\leq \inf\{l \in \mathbb{N} : \text{v zaporedju } X_1, \dots, X_l \text{ smo videli } m+n \text{ zaporednih enic}\} \\ &\leq (m+n) \cdot \inf\{l \in \mathbb{N} : \begin{array}{ll} X_1, \dots, X_{m+n}; & \text{vsebuje same enice, ali} \\ X_{m+n+1}, \dots, X_{2(m+n)}; & \text{vsebuje same enice, ali} \\ \dots & \\ X_{(l-1)(m+n)+1}, \dots, X_{l(m+n)}; & \text{vsebuje same enice} \end{array}\} = \\ &= (m+n) \cdot G_l =: \tilde{T} \end{aligned}$$



Časovno os razdelimo na intervale dolžine  $m+n$ , znotraj katerih čakamo, da zaporedje  $\{X_l\}_{l \in \mathbb{N}}$  vsebuje same enice:



Vsako zaporedje  $\{X_l\}_{l \in \mathbb{N}}$  v  $\tilde{T}$  je zaporedje Bernoullijevih spremenljivk, saj pri upanju računamo verjetnost, da se v  $m+n$  ponovitvah dogodek zgodi natanko  $m+n$ -krat. Torej  $X_l \sim \text{Ber}(p^{m+n})$ , medtem ko je zaporedje  $\{X_l\}_{l \in \mathbb{N}}$  porazdeljeno geometrijsko, torej  $G_l \sim \text{Geom}(p^{m+n})$ , saj čakamo, da se dogodek, ko zaporedje vsebuje same enice, zgodi natanko enkrat. Sledi:

$$E[G_l] = \frac{1}{p^{(m+n)}} \implies E[\tilde{T}] = \frac{m+n}{p^{(m+n)}} < \infty$$